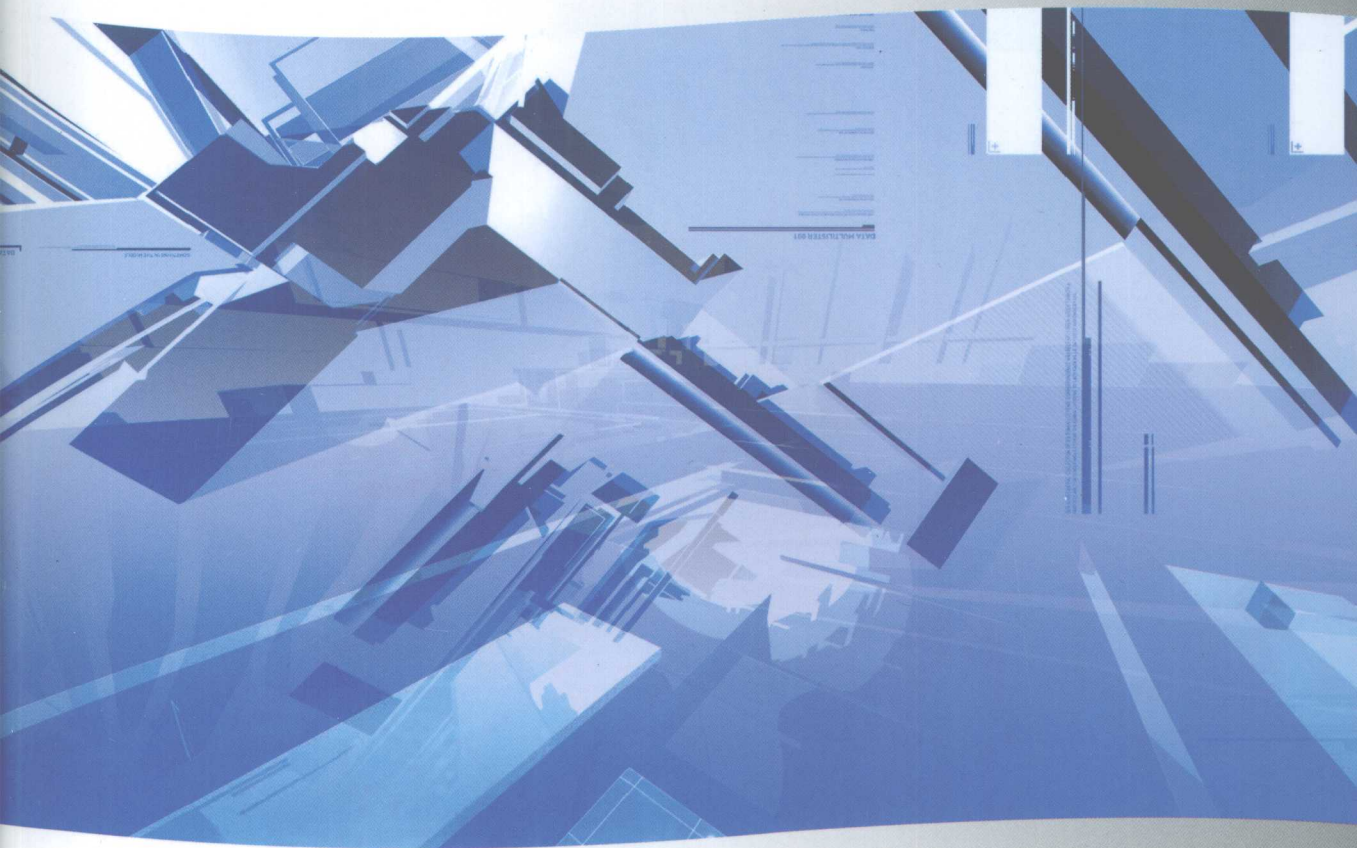


计算机系统软件系列教材

# Compute

## 操作系统原理与实践

主 编 邹 鹏  
副主编 阳国贵



- 由国内五所重点高校教学经验丰富的教师和具有我国自主知识产权操作系统开发实际经验的技术专家共同编写，突出了理论结合实践的显著特点。
- 通过对操作系统内核设计的剖析，使读者提高对操作系统原理的感性认识 and 实践能力，以及今后应用软件开发方面的能力；同时，还为有志从事操作系统深入研究的读者打下基础。



高等教育出版社  
Higher Education Press

计算机系统软件系列教材

# 操作系统原理与实践

主 编 邹 鹏 副主编 阳国贵

阳国贵 翟高寿 李 为 洪明坚  
刘 禾 秦 莹 马 炜 孙鹏飞 编著  
常光辉 刘 寄 姬晓波

高等教育出版社

## 内容简介

操作系统是计算机系统的重要组成部分,是最底层、最基础和最核心的系统软件,负责控制和管理整个系统的资源并组织协用户对这些资源的使用。

本书全面阐述操作系统的基本工作原理和设计方法,包括操作系统结构、进程管理、内存管理、设备管理和文件系统等经典内容以及操作系统安全、并行与分布式操作系统等新内容。为加强对操作系统原理的理解和实践能力的培养,本书还以国产麒麟(Kylin)操作系统为实例,详细介绍操作系统的内部结构和产品实现的若干重要问题。最后,为开拓读者视野,还介绍了面向未来的操作系统虚拟机技术、面向多核的操作系统技术、面向QoS的操作系统技术、WebOS技术以及嵌入式操作系统技术等重要发展方向的现状和趋势。

本书编写组由国内5所重点高校一线教学经验丰富的教师和具有我国自主知识产权操作系统开发实际经验的技术专家共同组成,突出了理论结合实践的显著特点。

本书可作为高等学校计算机专业或计算机应用、通信与电子相关专业本科生的教材和参考书,也适合从事计算机软件设计、开发、维护和应用的专业人员阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

操作系统原理与实践/邹鹏主编. —北京:高等教育出版社,2008.9

ISBN 978-7-04-024561-5

I. 操… II. 邹… III. 操作系统-高等学校-教材  
IV. TP316

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第113554号

策划编辑 刘艳  
版式设计 余杨

责任编辑 彭立辉  
责任校对 姜国萍

封面设计 张志奇  
责任印制 毛斯璐

责任绘图 尹莉

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 国防工业出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16  
印张 28.25  
字数 620 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landracom.com>  
<http://www.landracom.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2008年9月第1版  
印次 2008年9月第1次印刷  
定价 35.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24561-00

# 计算机系统软件系列教材编委会

---

主任：邹鹏

委员(按姓氏拼音排序)：陈蜀宇、韩臻、雷飞涛、宋茂强、吴克河、吴庆波

秘书长：段启钟

# 前 言

操作系统是当今计算机系统不可或缺的重要组成部分,也是最为核心的系统软件。如果把20世纪50年代末出现的监管程序看成是操作系统的基础雏形,那么操作系统在半个世纪的发展过程中,经历了多道批处理、分时、网络、分布式等诸多发展阶段;探索了整体式、层次式微内核和虚拟化等多种操作系统实现形式和结构;使用范围和呈现形式从智能设备内部的嵌入式操作系统、单机环境下的个人操作系统,到网络环境下的服务器操作系统和分布式操作系统,一直延伸到用于处理密集科学计算问题的并行系统和集群系统;操作系统的功能从提供物理资源的抽象管理扩展到保证信息系统安全,提供可信计算环境,支持7×24小时模式的高可用稳健平台,并且在同一计算机物理平台之上提供多个相互隔离的虚拟机操作系统环境。

随着计算机基础软件技术的不断进步,涌现了大量的操作系统研究原型、商用产品和开源系统,形成了以操作系统为核心的系统软件产业。新的技术成果已不可能通过一本操作系统原理教材所囊括,因此我们对计算机基础教育的核心课程——操作系统原理进行了重新审视。为了便于学生循序渐进地学习以及今后向不同的领域深入发展,特此开发了计算机系统软件系列丛书。该套丛书可以作为高等院校计算机专业本科生和研究生的专业核心课程教材,也可以作为从事计算机研究与软件开发工程技术人员的参考用书。本书将作为该系列丛书的第一本入门读物。

计算机从1946年诞生以来,伴随其一同成长的操作系统技术只掌握在少数几个国家手里,因此在讲授操作系统课程时,从原理到实现代码的获得均比较滞后,甚至由于商业保护而难以取得。随着开源Linux的兴起以及2006年拥有内核自主知识产权的国家“863”重大专项科技成果——银河麒麟(Kylin)操作系统的成功开发,使得我国在操作系统研究领域取得重大突破。本书就是以此为契机,以Kylin操作系统的核心开发单位国防科技大学牵头,联合华北电力大学、重庆大学、北京交通大学、北京邮电大学共五所“211工程”重点大学的计算机学院及软件学院,共同抽调具有丰富的操作系统开发科研经验和一线教学实践经验的教师,并在联想集团应用方案中心的大力协助下,共同完成本教材的开发和配套实验课程,实验教材将另版发行。尽管国内外已经出版了大量的操作系统原理教材,但能体现操作系统教育与培训、操作系统研究与开发、操作系统应用与推广三大阵营集体智慧的操作系统教材是不多的。通过我们的努力,力争将最新的操作系统技术发展及时介绍给广大读者。本书的另一个重要特点就是通过对操作系统的代码实验课程,使读者提高对操作系统原理的感性认识 and 实践能力,以期有志从事操作系统深入研究的读者打下基础,同时也可以提高读者在今后应用软件开发方面的能力。

本书共分为9章,从知识结构上分为4个部分:

第一部分即第一章,作为全书的概述,从计算机体系结构回顾开始,引申到作为硬件资源调度和管理的操作系统的介绍,再扩展到构建其上的整体计算机软件体系,使读者了解操作系统在整个计算机系统中所处的位置和地位。此外,本章还介绍了伴随计算机硬件而发展起来的各个时期操作系统的历史、操作系统的内部结构和常见操作系统产品的结构特点。通过学习本章,可以使读者对操作系统的发展全貌有所了解。

第二部分为第2~7章,该部分从操作系统的内部构造完整地介绍其工作原理,不但介绍了进程管理、内存管理、设备管理、文件管理,还将近期已发展成熟的操作系统安全机制、网络环境下的分布以及并行处理技术加以介绍,作为操作系统发展新阶段的重要组成部分。

第三部分即第8章,从实践的角度深入介绍了我国自主研发的Kylin操作系统。与以往不同,实例内容的作者拥有操作系统开发实践经验,再通过配套实验教材,可以使读者快速了解一个操作系统真实的内部结构。

第四部分即第9章,介绍了当今操作系统在不同方向的延伸发展以及操作系统的新技术。

为帮助教师使用本教材,编写组还组织相关章节的原作者开发了配套电子课件,并发布在高等教育出版社的教育资源网站,网址为 <http://computer.cncourse.com>。

本书根据邹鹏主编所做的内容整体规划,经过北京汉众信息科技有限责任公司精心策划,多次组织5所高校的作者,分析以往自身教学工作中教材内容方面的不足,并总结学生在学习过程中反馈的建议,对课程立意、大纲、内容反复地进行了研讨与修改,历时一年的开发和试用,终于定稿。但随着操作系统技术自身的发展,仍需要不断地改进,真诚希望广大读者给予批评与指正。按照主题,本书的编写分工如下:

邹鹏:大纲编写、全文统稿。

阳国贵:概述、设备管理、虚拟机技术、面向多核的操作系统技术。

翟高寿:内存管理、操作系统安全。

李为:分布式操作系统。

洪明坚:文件系统。

刘禾:进程、线程、同步、信号量、进程通信、嵌入式操作系统技术中的移动终端操作系统技术、面向QoS的操作系统。

秦莹:Kylin实例。

马炜:概述中的操作系统发展历史、操作系统结构、常见操作系统介绍(UNIX操作系统、Windows操作系统和Linux操作系统)。

孙鹏飞:调度、死锁。

常光辉:并行操作系统。

刘寄:嵌入式操作系统技术。

姬晓波:WebOS技术。

本书在编写过程中,得到联想集团应用方案技术中心、高等教育出版社的大力支持,多次得

到吴克河、陈蜀宇、于双元、吴庆波、戴华东、常宏达、雷飞涛、崔哲、程为民、黄华等老师和专家的指导建议,董攀、李广辉参与第8章 Kylin 实例研究部分内容的编写,何连跃、孔金珠、刘晓建、谭郁松、任怡、易晓东、邵立松、魏环宇等老师和同学也对部分章节提出了宝贵意见,在组稿过程中李定同志付出了辛勤的劳动,在此谨向以上各参与单位、人员表示衷心感谢。

编写组

2008年3月

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

# 目 录

<b>第1章 概述</b> .....	1	1.4.4 微内核结构 .....	25
1.1 什么是操作系统 .....	1	1.5 常见操作系统介绍 .....	27
1.1.1 计算机软件体系 .....	1	1.5.1 UNIX 操作系统 .....	27
1.1.2 操作系统使系统编程接口 更简单 .....	3	1.5.2 Windows 操作系统 .....	29
1.1.3 操作系统使系统资源利用 更充分 .....	4	1.5.3 Linux 操作系统 .....	35
1.1.4 操作系统使程序运行环境 更友好 .....	5	1.5.4 Kylin 操作系统 .....	37
1.2 操作系统硬件基础 .....	6	习题 .....	41
1.2.1 计算机基本组成结构 .....	6	<b>第2章 进程管理</b> .....	42
1.2.2 总线结构 .....	8	2.1 进程 .....	42
1.2.3 I/O 端口寻址和访问控制 .....	10	2.1.1 进程概念的引入 .....	42
1.2.4 I/O 控制器和控制卡 .....	11	2.1.2 进程的概念 .....	43
1.2.5 引导过程及硬件支持 .....	13	2.1.3 进程描述 .....	44
1.3 操作系统发展历史 .....	14	2.1.4 进程控制 .....	48
1.3.1 无操作系统阶段 .....	15	2.2 线程 .....	50
1.3.2 单道批处理系统 .....	15	2.2.1 线程的引入和线程的概念 .....	50
1.3.3 多道批处理系统 .....	17	2.2.2 线程的实现 .....	52
1.3.4 分时操作系统 .....	19	2.2.3 线程池 .....	55
1.3.5 实时操作系统 .....	20	2.2.4 线程的优势 .....	55
1.3.6 嵌入式操作系统 .....	21	2.3 同步 .....	57
1.3.7 网络操作系统 .....	21	2.3.1 进程同步和进程间通信 .....	57
1.3.8 分布式操作系统 .....	22	2.3.2 互斥的实现方式 .....	59
1.4 操作系统结构 .....	22	2.4 信号量 .....	60
1.4.1 整体式结构 .....	23	2.4.1 整型信号量 .....	60
1.4.2 分层式结构 .....	23	2.4.2 记录型信号量 .....	61
1.4.3 虚拟机结构 .....	24	2.4.3 信号量的应用 .....	62
		2.4.4 经典的进程同步问题 .....	64
		2.5 进程间通信 .....	68
		2.5.1 进程间通信的定义 .....	68

2.5.2 消息传递 .....	69	3.4 基本分段内存管理 .....	153
2.5.3 共享存储 .....	73	3.4.1 分段内存管理的基本思想 .....	153
2.5.4 管道通信 .....	75	3.4.2 分段机制 .....	154
2.6 进程调度 .....	75	3.4.3 地址变换机构 .....	155
2.6.1 调度概念的引入 .....	75	3.4.4 分段共享与保护 .....	156
2.6.2 CPU 调度程序 .....	76	3.4.5 分段内存管理系统与分页 内存管理系统的比较 .....	158
2.6.3 调度准则 .....	78	3.5 段页式内存管理 .....	158
2.6.4 调度策略 .....	80	3.5.1 段页式内存管理方式的 引入 .....	158
2.7 死锁 .....	90	3.5.2 基本原理 .....	159
2.7.1 死锁的背景 .....	90	3.5.3 地址映射 .....	159
2.7.2 产生死锁的必要条件 .....	90	3.6 虚拟存储管理 .....	161
2.7.3 资源使用模式 .....	92	3.6.1 虚拟存储器概述 .....	161
2.7.4 死锁的处理方法 .....	93	3.6.2 请求分页存储管理 .....	165
2.7.5 预防死锁 .....	93	3.6.3 请求分段存储管理 .....	170
2.7.6 避免死锁 .....	95	3.6.4 请求段页式存储管理 .....	172
2.7.7 死锁的检测与解除 .....	101	习题 .....	179
习题 .....	105	<b>第4章 设备管理</b> .....	181
<b>第3章 内存管理</b> .....	109	4.1 I/O 硬件 .....	181
3.1 内存管理概述 .....	109	4.1.1 I/O 总线 .....	181
3.1.1 计算机存储系统 .....	109	4.1.2 设备控制器 .....	184
3.1.2 程序处理与内存管理 .....	110	4.1.3 直接存储器访问控制器 .....	186
3.1.3 内存管理方法与技术的 衍变 .....	128	4.1.4 I/O 通道 .....	188
3.1.4 现代操作系统内存管理 功能要求 .....	129	4.1.5 I/O 设备 .....	190
3.2 连续分配内存管理 .....	130	4.1.6 I/O 控制方式 .....	191
3.2.1 单一连续内存管理 .....	130	4.2 I/O 软件 .....	196
3.2.2 分区内存管理 .....	131	4.2.1 设备的使用与管理 .....	196
3.2.3 覆盖与交换技术 .....	140	4.2.2 I/O 软件层次结构 .....	199
3.3 基本分页内存管理 .....	144	4.2.3 缓冲管理 .....	202
3.3.1 分页内存管理的基本思想 .....	144	4.2.4 设备驱动程序 .....	204
3.3.2 分页机制 .....	144	4.2.5 中断处理程序 .....	206
3.3.3 地址变换机构 .....	147	4.3 存储设备 .....	208
3.3.4 多级页表与反置页表 .....	149	4.3.1 常见的存储外设 .....	208
3.3.5 分页共享与保护 .....	152	4.3.2 磁盘调度 .....	212

4.3.3 磁盘出错处理 .....	216	5.8 性能和可靠性 .....	242
4.3.4 RAM 盘 .....	217	5.8.1 文件系统的性能 .....	242
4.3.5 磁盘阵列 .....	218	5.8.2 文件系统的可靠性 .....	243
习题 .....	226	5.9 文件系统实例 .....	243
<b>第5章 文件系统</b> .....	228	5.9.1 FAT 文件系统 .....	244
5.1 概述 .....	228	5.9.2 Linux 文件系统概述 .....	245
5.2 文件 .....	228	5.9.3 ext2 文件系统 .....	246
5.2.1 文件的概念 .....	228	习题 .....	248
5.2.2 文件的属性 .....	228	<b>第6章 操作系统安全</b> .....	249
5.2.3 文件的操作 .....	229	6.1 操作系统安全概述 .....	249
5.2.4 文件的类型 .....	230	6.1.1 操作系统安全的重要性 .....	249
5.2.5 文件的结构 .....	231	6.1.2 操作系统面临的安全威胁 .....	250
5.3 文件的访问 .....	231	6.1.3 安全操作系统的设计目标 和原则 .....	251
5.3.1 顺序访问 .....	231	6.1.4 安全操作系统的基本安全 机制 .....	252
5.3.2 随机访问 .....	231	6.2 标识、鉴别及可信通路 .....	253
5.3.3 索引访问 .....	231	6.2.1 基本概念 .....	253
5.4 文件保护 .....	232	6.2.2 标识与鉴别机制 .....	255
5.4.1 访问类型 .....	232	6.2.3 基于安全注意键的可信通路 构建方法 .....	257
5.4.2 访问控制 .....	232	6.3 访问控制 .....	259
5.5 目录结构 .....	233	6.3.1 主体与客体及访问控制 .....	259
5.5.1 单层目录 .....	233	6.3.2 自主访问控制 .....	260
5.5.2 双层目录 .....	233	6.3.3 强制访问控制 .....	262
5.5.3 树状目录 .....	234	6.3.4 最小特权访问控制 .....	264
5.5.4 目录的访问和保护 .....	235	6.4 隐蔽通道分析与处理 .....	271
5.5.5 文件系统的挂载 .....	235	6.4.1 隐蔽通道的概念 .....	271
5.6 文件系统的实现 .....	236	6.4.2 隐蔽通道的标识方法 .....	274
5.6.1 文件系统的结构 .....	236	6.4.3 隐蔽通道带宽计算及处理 技术 .....	276
5.6.2 文件访问 .....	236	6.5 安全审计 .....	277
5.6.3 目录实现 .....	237	6.5.1 主要目标 .....	277
5.6.4 文件的实现 .....	238	6.5.2 相关概念 .....	278
5.6.5 文件分配方法 .....	238	6.5.3 设计与实现要领 .....	278
5.7 空闲空间管理 .....	241		
5.7.1 位图 .....	241		
5.7.2 链表 .....	241		
5.7.3 分组计数 .....	242		

6.6 构建安全的操作系统 .....	280	8.2.4 调度 .....	359
6.6.1 构建方法 .....	280	8.2.5 进程的生命周期 .....	360
6.6.2 开发过程 .....	281	8.3 系统服务层存储管理 .....	366
6.6.3 基于 Linux 的安全操作系统的开发与设计要领 .....	281	8.3.1 x86 体系结构的页式存储管理和 Kylin 中的页表管理 .....	366
6.6.4 Kylin 操作系统的安全性 .....	284	8.3.2 进程地址空间的基本结构 .....	369
6.7 操作系统安全测评 .....	290	8.3.3 内核虚存动态分配函数 .....	374
6.7.1 安全测评、安全测试及软件测试 .....	290	8.3.4 UMA 分配系统 .....	376
6.7.2 安全测评基础与准则 .....	292	8.3.5 进程的创建和执行 .....	378
6.7.3 安全测评方法 .....	296	8.3.6 缺页和调页 .....	380
6.7.4 安全测评自动化 .....	298	8.4 Kylin 系统服务与 Linux 兼容层 .....	381
习题 .....	301	8.4.1 Linux 兼容模块的实现 .....	381
<b>第 7 章 并行与分布式操作系统</b> .....	<b>303</b>	8.4.2 LSB 规范下的核外兼容实现 .....	388
7.1 并行操作系统 .....	303	<b>第 9 章 操作系统前沿技术</b> .....	<b>389</b>
7.1.1 并行操作系统概述 .....	303	9.1 虚拟机技术 .....	389
7.1.2 并行操作系统的键软件技术 .....	306	9.1.1 概述 .....	389
7.1.3 并行编程模型 .....	308	9.1.2 进程级虚拟机 .....	390
7.1.4 集群系统 .....	309	9.1.3 系统级虚拟机 .....	393
7.1.5 并行文件系统 .....	315	9.1.4 硬件体系结构对虚拟化的支持 .....	396
7.2 分布式操作系统 .....	320	9.1.5 其他相关研究 .....	396
7.2.1 分布式系统概述 .....	320	9.2 面向多核的操作系统技术 .....	399
7.2.2 分布式通信 .....	325	9.2.1 概述 .....	399
7.2.3 分布式系统互斥与死锁 .....	329	9.2.2 操作系统对多核体系结构的支持 .....	401
7.2.4 任务分配与负载均衡 .....	343	9.2.3 其他相关问题 .....	408
7.2.5 分布式文件系统 .....	344	9.3 面向 QoS 的操作系统技术 .....	410
习题 .....	353	9.3.1 QoS 定义和分层结构 .....	410
<b>第 8 章 Kylin 实例研究</b> .....	<b>354</b>	9.3.2 QoS 处理模型和操作系统 QoS 保障 .....	411
8.1 Kylin 操作系统概述 .....	354	9.3.3 支持 QoS 的操作系统要完成的工作 .....	413
8.2 系统服务层任务管理 .....	355		
8.2.1 Kylin 进程概述 .....	355		
8.2.2 进程状态 .....	357		
8.2.3 进程切换 .....	359		

9.4 WebOS 技术 .....	417	9.5.3 嵌入式操作系统内核 .....	423
9.4.1 概述 .....	417	9.5.4 嵌入式操作系统的实时性 .....	424
9.4.2 WebOS 简介 .....	418	9.5.5 移动终端操作系统技术 .....	426
9.4.3 WebOS 的组成 .....	418	9.5.6 几种主流的嵌入式操作 系统 .....	427
9.4.4 WebOS 的进展及趋势 .....	419	9.5.7 嵌入式操作系统的最新进展 及趋势 .....	430
9.5 嵌入式操作系统技术 .....	421	<b>参考文献</b> .....	432
9.5.1 嵌入式系统的定义 .....	421		
9.5.2 嵌入式操作系统的历史 .....	422		

# 第1章 概述

计算机在当代社会中的作用无疑是举足轻重、不可或缺的,它与通信一起,架设起通往信息社会的桥梁。操作系统是最基本的系统软件,它控制计算机的所有资源并为应用程序开发提供良好的环境和基础。一方面,操作系统将裸机改造成为抽象层次更高、便于理解和编程控制的虚拟机,为用户提供一种使用计算机系统的良好环境;另一方面,它采用合理有效的方法组织多个用户共享计算机的各种资源,最大限度地提高资源的利用率。

本章将从操作系统概述、操作系统发展简史和操作系统组成结构等方面对操作系统的各个方面进行基本介绍,展现操作系统丰富的研究内涵和技术演变的探索历程,使读者对操作系统的基本概念、基本作用和发展历史有一个轮廓性的认识。

## 1.1 什么是操作系统

### 1.1.1 计算机软件体系

人们常见的桌面计算机由显示器、键盘、打印机和主机等几大部分组成。打开主机机箱,可以看到微处理器、主板、内存、磁盘、网卡、显卡、插槽、风扇等,这些器件通过主板连接构成一个有机的整体,形成了计算机系统的物理结构。为了能使这些硬件资源高效、尽可能并行地为用户程序所使用,并提供使用这些硬件的通用和简便的方法,需要在硬件的基础上进行抽象,此项工作首先是由操作系统来完成的。操作系统是紧贴硬件的软件层次,管理计算机的硬件资源,并组织用户尽可能方便地使用这些资源,以尽量合理和高效的方式组织单个或多个用户实现对各种资源的共享使用。

计算机软件是指计算机系统程序及其相关的文档。程序是计算任务的处理对象和处理规则的描述,也是算法的具体体现;文档是为了便于了解程序、维护程序生命周期所需的相关资料。在知识产权日益得到保护和重视的今天,软件许可协议也成为软件的一个组成部分,软件用户必须在同意该许可的情况下才能够合法地使用软件。

计算机软件可以划分为系统软件、应用软件和介于这两者之间的支撑软件。其中,系统软件为计算机用户提供最基本的功能,但并不针对某一特定应用领域。应用软件则恰好相反,不同的应用软件针对用户和所服务的领域提供不同的功能。支撑软件包括消息和对象中间件、分布式运行环境、开发环境和工具软件等。

计算机硬件和软件一起组成计算机系统,为方便从计算机系统整体角度来理解计算机软件体系,通常将计算机系统构成分解为硬件/固件、系统软件、支撑软件和应用软件。其基本构成关系如图 1.1 所示。

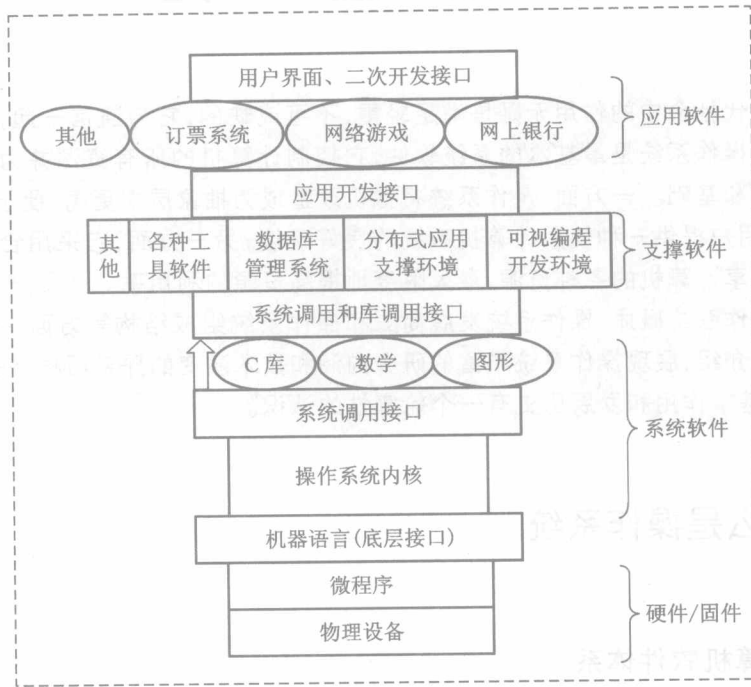


图 1.1 计算机系统构成

图 1.1 中的最底层是硬件,它本身可能由两层或多层构成,包括集成电路芯片、连线、电源、阴极射线管和相关的物理装置。其次是直接控制设备并向上层提供接口的原始软件层,该软件被称为微程序,通常存放在只读存储器中,它实际上是一个解释器,先取得诸如 ADD、MOVE 和 JUMP 等机器语言指令,然后通过一系列的细小动作执行这些指令。例如,为了执行一条 ADD 指令,微程序必须先确定要做加法的数据的位置并取得操作数,然后相加,最后在某处存放结果。由微程序解释执行的这一套指令集称为机器语言。机器语言并不真正是硬件的组成部分,但硬件制造商通常在手册中给出有关机器语言的完整描述,因此不少人将它看做真正的“计算机”。在有些机器里,微程序由硬件实现,它并不是非常明晰的一层。

由物理设备和微程序提供给操作系统的是机器语言接口,该接口反映了机器系统能完成的所有操作和功能。典型的机器语言有 50 ~ 300 条指令,包括数据传送、算术运算和数值比较等操作。在这个层次上,可以通过向特定的设备寄存器写入数值来控制输入/输出设备。例如,硬盘读操作可通过把磁盘地址、内存地址、字节数和操作类型等值装入特定的寄存器来完成。实际上往往需要更多的操作参数,而操作完成后设备返回的状态也非常复杂。进一步来说,对许多 I/O

设备而言,在程序设计中时序的作用非常重要。

在机器语言层面来实现应用逻辑,完成用户的处理要求,将涉及一些非常繁琐的底层细节。操作系统的主要功能之一就是将所有这些复杂性隐藏起来,使程序员更加关注求解问题本身的算法,而从具体的实现细节中解脱出来。例如,在概念上“从文件中读数据块”比考虑“移动磁头,等待放置”之类的细节更加简单、方便,有利于提高软件开发的效率。

操作系统提高了物理机器操作的抽象层次,方便了物理资源的共享使用,并为应用程序提供了更为周到的运行环境。通常,操作系统运行于核心态,受硬件保护而免遭用户的篡改。操作系统提供给上层的基本接口是系统调用。

当用户为计算机安装操作系统时,操作系统内核、命令解释器、编辑器、Web 浏览器、各种程序,甚至数据库服务器、Web 服务器都从安装介质复制到计算机系统的硬盘上。广义地说,它们都是操作系统的组成部分。在现代操作系统实现中,命令解释器没有作为操作系统内核的组成部分,但它在使用计算机过程中是不可缺少的。其他的核外程序则根据对机器系统的用途进行选择。如果作为数据库服务器,则可以不安装 X Window System、编译器等软件。

再往上走是各种库程序,它们是一些可重用的、共用的用户子程序。系统提供这些库程序是为了方便用户编程,用户不必为了实现一个较通用的功能再重写上述库程序的代码,而只要引用库程序中的函数即可。库程序可以看做一些通用的、公共的用户程序集合,可通过利用内核提供的简单的资源管理功能实现复杂的复合功能。由于它位于用户层程序的底层,说明它是在用户态下执行的、基础的公共程序。这些基础的公共程序之所以不放到操作系统内核中实现,是因为它们不涉及系统公共资源的管理,或者为了减少内核的大小。

再上一层是支撑软件层,是一些为了方便应用程序的开发而提供的有一定针对性的软件。例如,数据库管理系统,主要是方便事务处理应用而提供的复杂软件。通过数据库模式和高级数据库操作语言方便事务处理系统的开发,例如基于数据库管理系统来实现订票系统就比基于底层操作来开发简单得多。分布式应用支撑环境(有时也称中间件)将为应用的位置透明、任务迁移等特性的实现提供支持。

最后,在支撑软件之上的是应用软件。这些软件针对终端用户的需要,用来帮助用户日常工作,诸如商业数据处理、工程计算或者电子游戏等。应用软件千姿百态,使得计算机真正被应用到不同的应用领域,满足不同的应用需求,发挥出计算机系统的强大功能。

### 1.1.2 操作系统使系统编程接口更简单

从操作系统所处软件体系可以看出,操作系统为上层环境提供了系统调用和各种库函数,起到了将物理裸机进行抽象的作用。在机器语言层面,多数计算机的体系结构是原始的,编程细节比较繁琐,输入/输出操作更是如此。

例如,现代计算机都配置有磁盘控制器来实现对磁盘的 I/O 操作,但对磁盘控制器的编程却非常复杂。假如每个程序员都需要了解这些细节并进行编码操作,不仅会造成大量的重复工作,也会浪费大量的宝贵时间,而且错误隐患也会随之增多。事实上,程序员需要的是一种简单、高

度抽象的编程接口,便于实现对磁盘的操作和控制。对磁盘存储空间的使用而言,文件系统对此做了一个很好的抽象。每个文件可以打开、读/写,最后关闭,这也是人们所熟知的对磁盘的操作。用户无须知道电机如何启动、如何读/写数据,也不需要知道要读/写的的数据放在磁盘的哪一个扇区,只需要知道读/写哪个文件的哪一部分数据,利用这个简单的文件使用界面就可以与磁盘进行数据交换。这个文件使用界面由操作系统内核中的系统调用实现。

对处理器的管理同样抽象为进程管理,包括进程的产生、运行代码的绑定、优先级的设置、进程切换、进程同步和通信等。用户编程只要在这一层次进行,而不要感知寄存器、机器状态、堆栈切换等操作。

操作系统起到基本机器扩展的作用,其内核通过为用户层程序提供系统调用接口,使用户编程可以在更高抽象层面上进行。系统调用可以看成是特殊的公共子程序,一方面,这些程序提供了一些可以被任意用户层程序调用的公用功能;另一方面,系统调用处理程序运行在一种特殊的保护状态下。在这种状态下,程序可以执行一些特权指令,以访问用户层程序访问不到的存储空间。

### 1.1.3 操作系统使系统资源利用更充分

把操作系统看成是为用户提供系统调用接口的扩展机器的观点是从提高抽象层次的角度来讲的,从多用户共享机器系统资源来看,操作系统则是在相互竞争的程序之间有序地控制对处理器、存储器以及其他 I/O 接口设备的分配和优化管理。

计算机系统中引入并行和并发的思想,不仅可以加快单用户单进程环境下的处理速度,也可以提高多用户多进程环境下系统资源的使用效率。但是,并发环境下的同步与互斥不仅在程序设计和编程上会给编程人员带来困难,也给具体的程序正确性调试和性能改进带来麻烦。假如没有操作系统的介入和统筹安排,加在编程人员身上的负担是难以想象的。

假设在一台计算机上运行的 3 个程序试图同时在一台打印机上输出计算结果,那么头几行可能是程序 1 的输出,下面几行是程序 2 的输出,然后又又是程序 3 的输出等。最终 3 个程序的结果将交替打印,造成混乱。操作系统采用将打印输出送到磁盘缓冲区的方法,可以避免这种混乱。在一个程序结束后,操作系统可以将暂存在磁盘上的文件输出到打印机,同时其他程序可以继续产生新的输出结果。很明显,这些程序的输出并没有直接送到打印机,操作系统从中起到协调作用。

要让每种资源被多用户充分利用,就需要研究每种资源的使用特点。对于单处理器来说,如果多个用户都要使用它,则只有让多个用户的程序分时地在处理器上运行,即处理器交替地运行多个用户的程序。这意味着操作系统要合理调度多用户程序使用处理器。对于存储设备,它是为程序和数据提供存放空间的,只要多个用户的程序和数据按照规定的位置存放,它们是可以共存的。操作系统要做的事就是管理存储空间,把适当的空间分配给用户的程序和数据,当用户要访问这些程序和数据时要能够找到它们。

针对不同资源的特点,资源管理包含两种资源共享使用的方法:“时分”和“空分”。时分就是由多个用户分时地用该资源,除了上述的处理器以外,还有很多其他的资源也必须分时地使